

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-097856

(43)Date of publication of application : 07.04.2000

(51)Int.CI.

G01N 21/47

(21)Application number : 10-271087

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP

<NTT>
ANDO ELECTRIC CO LTD
NTT ELECTRONICS CORP

(22)Date of filing : 25.09.1998

(72)Inventor : TAKADA KAZUMASA

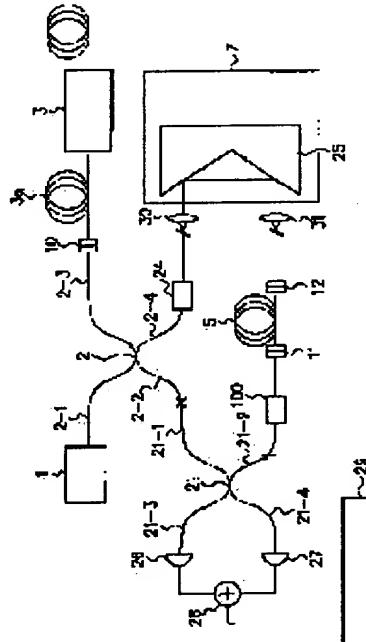
MORI TORU
HORIGUCHI MASAHIRO

(54) POLARIZATION-INDEPENDENT REFLECTOMETRY, AND POLARIZATION-INDEPENDENT REFLECTOMETER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To measure a reflectance distribution for a measured optical circuit without regulating a polarization condition in local light emission.

SOLUTION: When light emitted from a light source 1 is branched by an optical fiber coupler 2 to make one of the branched lights incident into measured light module 3 as measured light, and when the other is associated with reflected light from the module 3 by an optical fiber coupler 21 to interfere with it after group delay is imparted to the other as local emitted light by an optical fiber delay line 5, a reflector 25 or the like, beat signals are generated with respective polarization rotational angles using a polarization rotation angle optical module 100 comprising a polarizer and a polarization rotating device for rotating optionally a polarized condition from 0° to 90°, and intensities of them are summed up to measure reflected light power irrespective of the polarized conditions of the local emitted light and reflected light.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 11.05.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-97856

(P2000-97856A)

(43) 公開日 平成12年4月7日 (2000.4.7)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 1 N 21/47

識別記号

F I

G 0 1 N 21/47

テーマコード(参考)

Z 2 G 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数10 OL (全18頁)

(21) 出願番号 特願平10-271087

(22) 出願日 平成10年9月25日 (1998.9.25)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(71) 出願人 000117744

安藤電気株式会社

東京都大田区蒲田4丁目19番7号

(71) 出願人 591230295

エヌティティエレクトロニクス株式会社

東京都渋谷区桜丘町20番1号

(74) 代理人 100069981

弁理士 吉田 精孝

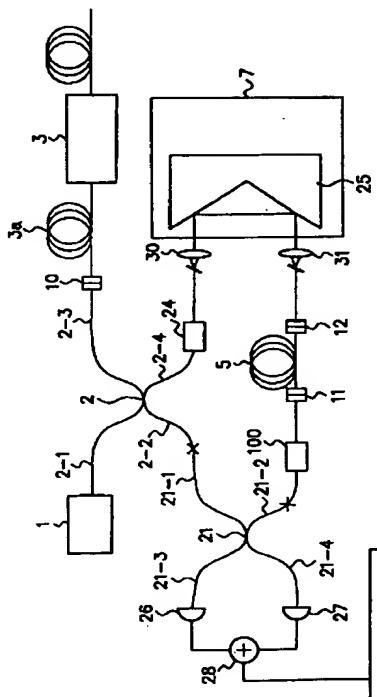
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏波無依存リフレクトメトリー及び偏波無依存リフレクトメータ

(57) 【要約】

【課題】 局発光の偏光状態を調整することなく被測定光回路の反射率分布を測定できる偏波無依存リフレクトメトリー及び偏波無依存リフレクトメータを提供すること。

【解決手段】 光源1から出射された光を光ファイバプラ2で分岐し、一方を測定光として被測定光モジュール3に入射し、他方を局発光として光ファイバ遅延線5、リフレクタ25等によって群遅延を与えた後、被測定光モジュール3からの反射光と光ファイバプラ21で合波させて干渉させる際、偏光子と偏光状態を0°及び90°に任意に回転させる偏波回転装置とからなる偏波回転用光モジュール100を用いて、それぞれの偏波回転角でビート信号を発生させ、それらの強度の和をとることにより、局発光と反射光の偏光状態に拘わらず反射光パワーの測定を可能とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 低コヒーレンス光を二分し、そのうちの一方を測定光として被測定光回路に入射し、他方を局発光として任意に変更可能な群遅延量を与えた後、前記測定光が被測定光回路の伝搬距離に応じた各地点で反射されて発生する反射光と合波させて干渉させ、該干渉光の強度を検出し、これより前記被測定光回路の伝搬距離に応じた各地点の反射率を前記群遅延量の関数として測定するリフレクトメトリーにおいて、

偏光度が0.3以下の低コヒーレンス光を用いるとともに、該偏光度を保持させて反射光及び局発光を干渉させ、

局発光または反射光のいずれか一方を直線偏光状態とするとともに、所定の群遅延量において局発光または反射光のいずれか一方の偏光状態を $\theta = 0^\circ$ 及び $\theta = 90^\circ$ 回転させた時の干渉光の強度 I_0 及び I_{90} をそれぞれ測定し、 $I_0 + I_{90}$ を求めて前記所定の群遅延量に対応する被測定光回路の伝搬距離に応じた地点の反射率を測定することを特徴とする偏波無依存リフレクトメトリー。

【請求項2】 低コヒーレンス光を発生する光源と、該光源からの低コヒーレンス光を二分する光分岐部、分岐された一方を測定光として被測定光回路に入射し、該測定光が被測定光回路の伝搬距離に応じた各地点で反射されて発生する反射光を取り出す測定用光学系、分岐された他方を局発光として任意に変更可能な群遅延量を与える可変遅延光学系、該可変遅延光学系からの局発光と測定用光学系からの反射光とを合波して干渉させる光合波部からなる干渉計と、該干渉計から出力される干渉光の強度を検出する検出系とを備え、該検出した干渉光の強度より、前記被測定光回路の伝搬距離に応じた各地点の反射率を前記群遅延量の関数として測定するリフレクトメータにおいて、

偏光度が0.3以下の低コヒーレンス光を発生する光源を用いるとともに、伝搬光の偏光度を保持可能に干渉計を構成し、

可変遅延光学系から光合波部へ至る経路または測定用光学系から光合波部へ至る経路（但し、光が往復する部位を除く。）のいずれか一方に偏光子を設置するとともに、可変遅延光学系から光合波部へ至る経路または測定用光学系から光合波部へ至る経路（但し、光が往復する部位を除く。）のいずれか一方に伝搬光の偏光状態を 0° 及び 90° に任意に回転させる偏波回転装置を設置し、

可変遅延光学系により所定の群遅延量を付与した状態において偏波回転装置により偏光状態をそれぞれ 0° 及び 90° に回転させた時の干渉光の強度を検出系により検出し、これらを加算することによって、前記所定の群遅延量に対応する被測定光回路の伝搬距離に応じた地点の反射率を測定する信号処理系を備えたことを特徴とする偏波無依存リフレクトメータ。

【請求項3】 2個の入射ポートと2個の出射ポートとを有する第一及び第二の光カプラを用い、第一の光カプラをその一方の入射ポートを光源に接続して光分岐部とともに、第二の光カプラをその少なくとも一方の出射ポートを検出系に接続して光合波部とし、

第一の光カプラの一方の出射ポートを被測定光回路に接続し、その他の入射ポートを第二の光カプラの一方の入射ポートに接続して測定用光学系とし、

第一の光カプラの他方の出射ポートを、入射ポートと出射ポートが異なる可変遅延回路を介して第二の光カプラの他方の入射ポートに接続して可変遅延光学系としたことを特徴とする請求項2記載の偏波無依存リフレクトメータ。

【請求項4】 2個の入射ポートと2個の出射ポートとを有する第一、第二及び第三の光カプラを用い、第一の光カプラをその一方の入射ポートを光源に接続して光分岐部とともに、第二の光カプラをその少なくとも一方の出射ポートを検出系に接続して光合波部とし、

第一の光カプラの一方の出射ポートを被測定光回路に接続し、その他の入射ポートを第二の光カプラの一方の入射ポートに接続して測定用光学系とし、

第一の光カプラの他方の出射ポートを光アイソレータを介して第三の光カプラの一方の入射ポートに接続し、第三の光カプラの一方の出射ポートを入射ポートと出射ポートが共通の可変遅延回路に接続し、その他の入射ポートを第二の光カプラの他方の入射ポートに接続して可変遅延光学系としたことを特徴とする請求項2記載の偏波無依存リフレクトメータ。

【請求項5】 2個の入射ポートと2個の出射ポートとを有する第一、第二、第三及び第四の光カプラを用い、第一の光カプラをその一方の入射ポートを光源に接続して光分岐部とともに、第二の光カプラをその少なくとも一方の出射ポートを検出系に接続して光合波部とし、

第一の光カプラの一方の出射ポートを第四の光カプラの一方の入射ポートに接続し、第四の光カプラの一方の出射ポートを被測定光回路に接続し、その他の入射ポートを第二の光カプラの一方の入射ポートに接続して測定用光学系とし、

第一の光カプラの他方の出射ポートを第三の光カプラの一方の入射ポートに接続し、第三の光カプラの一方の出射ポートを入射ポートと出射ポートが共通の可変遅延回路に接続し、その他の入射ポートを第二の光カプラの他方の入射ポートに接続して可変遅延光学系としたことを特徴とする請求項2記載の偏波無依存リフレクトメータ。

【請求項6】 2×1光スイッチを用い、第三の光カプラの一方の出射ポートをそのまま、他方の出射ポートを光遅延線を介して2×1光スイッチの2端子にそれぞれ接続し、その1端子を入射ポートと出射ポートが共通の

50

可変遅延回路に接続したことを特徴とする請求項 4 または 5 記載の偏波無依存リフレクトメータ。

【請求項 7】 ファラデー回転素子と、該ファラデー回転素子にそのビームの伝搬方向に磁界を印加せしめるコイル部と、該コイル部への電流を制御する電流制御部とからなる偏波回転装置を用いたことを特徴とする請求項 2 乃至 6 いずれか記載の偏波無依存リフレクトメータ。

【請求項 8】 1/2 波長板と、該 1/2 波長板を光軸に直交する面内で回転せしめる回転機構とからなる偏波回転装置を用いたことを特徴とする請求項 2 乃至 6 いずれか記載の偏波無依存リフレクトメータ。

【請求項 9】 2 つの主軸間の光路長差を 0 または 1/2 波長のいずれかに設定できる液晶素子と、該液晶素子への電圧を調整する電源とからなる偏波回転装置を用いたことを特徴とする請求項 2 乃至 6 いずれか記載の偏波無依存リフレクトメータ。

【請求項 10】 請求項 7 乃至 9 いずれか記載の偏波無依存リフレクトメータにおける偏波回転装置と、そのビームの伝搬経路内に設置された偏光子とを備えた偏波回転光用モジュールを用いたことを特徴とする偏波無依存リフレクトメータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光導波路や光モジュール等の被測定光回路における反射率（分布）を低コヒーレンス光を用いて測定するリフレクトメトリー（反射率測定方法）及びリフレクトメータ（反射率測定装置）に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図 1 は従来の低コヒーレンスリフレクトメータの一例、ここでは光ファイバ型マイケルソン干渉計をベースにした低コヒーレンスリフレクトメータを示すものである。図中、1 は偏光度が 0.1、スペクトル幅が 50 nm、中心波長が 1.53 μm の低コヒーレンス光を出射する発光ダイオードからなる光源、2 は 2 個の入射ポート 2-1, 2-2 と 2 個の出射ポート 2-3, 2-4 とを有する光ファイバカプラ、3 は光ファイバピッギテール 3a を備えた被測定光モジュール、4 は偏波コントローラ、5 は光ファイバコイルからなる光ファイバ遅延線、6 は反射鏡、7 は一軸ステージ、8 は光検出器、9 は信号処理系、10, 11, 12 は光コネクタ、13, 14 はコリメート用レンズである。

【0003】 前記構成において、光源 1 からの出射光は、光ファイバカプラ 2 にその一方の入射ポート 2-1 より入射され、出射ポート 2-3 及び 2-4 に分岐される。出射ポート 2-3 に分岐された光は測定光として、光コネクタ 10 により接続された光ファイバピッギテール 3a を介して被測定光モジュール 3 に入射される。前記測定光が被測定光モジュール 3 の伝搬距離に応じた各地点で反射されて発生する反射光は、前記光ファイバビ

ッギテール 3a を逆方向に伝搬して出射ポート 2-3 に入射される。

【0004】 一方、光ファイバカプラ 2 の出射ポート 2-4 に分岐された光は、偏波コントローラ 4、光ファイバ遅延線 5 を経てコリメート用レンズ 13 により平行ビームにされ、反射鏡 6 で反射され、前記経路を逆方向に伝搬して光ファイバカプラ 2 の出射ポート 2-4 に入射され、局発光として使用される。

【0005】 ここで、光ファイバ遅延線 5 は、被測定光モジュール 3 に接続された光ファイバピッギテール 3a の長さに応じて、この光ファイバ型マイケルソン干渉計の両アームの長さのバランスを取るためのものであり、両端の光コネクタ 11, 12 により適宜交換される。

【0006】 被測定光モジュール 3 からの反射光と反射鏡 6 で反射された局発光は光ファイバカプラ 2 で合波され、その入射ポート 2-2 から出射され、コリメート用レンズ 14 により平行ビームにされて光検出器 8 で受光される。光検出器 8 で受光され、光電変換された反射光と局発光とのビート信号は信号処理系 9 で処理され、その強度から被測定光モジュール 3 の反射率が測定される。

【0007】 この装置では、光ファイバカプラ 2 がその入射ポート 2-1 が光源 1 に接続されて光分岐部を構成し、その入射ポート 2-2 がコリメート用レンズ 14 を介して光検出器 8 に接続されて光合波部を構成し、光ファイバカプラ 2 の出射ポート 2-3 が測定用光学系を構成し、光ファイバカプラ 2 の出射ポート 2-4、光ファイバ遅延線 5、コリメート用レンズ 13、反射鏡 6（一軸ステージ 7 を含む。）が可変遅延光学系を構成し、これらによって干渉計が構成される。

【0008】 光源 1 からの出射光のコヒーレンス長は約 40 μm であるので、反射鏡 6 の特定の位置に対して、反射光が局発光と干渉できるためには、反射光の光路長が局発光の光路長とコヒーレンス長以内で一致する必要がある。このため、反射鏡 6 を一軸ステージ 7 で光ビームの方向に移動させると、各反射鏡の位置と一対一に対応する被測定光モジュール 3 の地点における反射光の干渉ビート信号のみを得ることができ、このビート信号の強度を測定し、適切な定数を掛けることによりその反射光の光パワーを求めることができる。このリフレクトメトリーの空間分解能は、 κ を定数、c を光速度、n を測定光導波路の群屈折率、 δv を光源出射光のスペクトルの半値全幅として $\kappa c / n \delta v$ で与えられる。なお、光源 1 からの出射光のスペクトルがガウス型である場合には、 $\kappa = 0.31$ である。

【0009】 低コヒーレンスリフレクトメータは光干渉を利用して反射光の光パワーを測定するので、偏波コントローラ 4 を用いて局発光と反射光との偏光状態を一致させる必要がある。多くの場合、被測定光モジュール 3 には図示の如く光ファイバピッギテール 3a が接続され

ている。この被測定光モジュール3を干渉計の一方のアームに接続すれば、バランスを取るために光ファイバ遅延線5を干渉計の他のアームに接続する必要がある。

【0010】これらの光ファイバ内を伝搬する光の偏光状態はファイバへの曲げやストレス状態によって変化する。また、被測定光モジュールの導波路自体が複屈折性を有する場合、導波路の各地点で反射した光の偏光状態は地点毎に異なる。従って、異なる被測定光モジュールや光ファイバ遅延線を用いたり、複屈折性の導波路を測定する場合には、両者の偏光状態を偏波コントローラを用いて調整する必要があるが、この調整を取り除くことは、測定の手間を省き、全自动反射測定を実現するために不可欠である。

【0011】図2は従来の低コヒーレンスリフレクトメータの他の例、ここでは反射光の偏光状態に依存することなくその反射率（即ち、反射光の光パワー）を測定できる偏波無依存型の低コヒーレンスリフレクトメータを示すものである。図中、15は偏光子、16は偏光ビームプリッタ、17は光検出器、18は信号処理系である。なお、図1と同一構成部分は同一符号をもって表している。

【0013】偏光ビームスプリッタ16により局発光及び反射光をP波とS波に分離してそれぞれの偏光状態で反射光及び局発光を干渉させ、光検出器8及び17と信号処理系18でそれぞれのビート信号の干渉強度を検出し、それぞれの強度の加算を行うという偏波ダイバーシティ技術が採用されている。

【0014】反射光及び局発光の電場成分がそれぞれの偏波（P波またはS波）でコヒーレント状態かつ同位相であることを考慮すると、干渉ビート成分の振幅は $E_{r,p}$ 、 $E_{r,s}$ 、 $E_{l,p}$ 、 $E_{l,s}$ となり、ビート信号のそれぞれの強度は

$$I_p = 1/2 \cdot (|E_{r,p}|^2 + |E_{l,p}|^2) \quad (1.1)$$

$$I_s = 1/2 \cdot (|E_{r,s}|^2 + |E_{l,s}|^2) \quad (1.2)$$

で表される。

【0015】(1.1)と(1.2)式より、両強度の

$$I = I_p + I_s = 1/2 \cdot (|E_{r,p}|^2 + |E_{l,p}|^2 + |E_{r,s}|^2 + |E_{l,s}|^2) \quad (2)$$

となる。

【0016】局発光のP波とS波の強度はそれぞれ $|E_{r,p}|^2$ 、 $|E_{l,p}|^2 = |E_{r,s}|^2$

に限り、

$$I = 1/2 \cdot (|E_{r,p}|^2 + |E_{r,s}|^2) + |E_{l,p}|^2 \quad (4)$$

即ち、総和Iは反射光の強度である $|E_{r,p}|^2 + |E_{r,s}|^2$ に比例することになり、反射光の光パワーをその偏光状態に依存せずに測定できることになる。

【0017】光源1からの出射光はほぼ無偏光であるので、局発光を偏光させるために局発光を偏光子15に通過させている。光源1からの出射光が無偏光であるため、光ファイバ遅延線5の内部でいかなる偏波回転を受けたとしても、ファイバ内に偏波依存損失が無い限り、この光ファイバ遅延線5を通過した光の互いに直行する成分は等しい。このため、光ファイバ遅延線5の状態に関係なく、コリメートされた光のパワーの半分は常に偏光子15を通過することができる。偏光子15を通過した光は全反射鏡6で反射され、偏光子15を通過して再び光ファイバ遅延線5と出射ポート2-4を逆方向に伝搬する。偏光ビームスプリッタ16で分離される直前の局発光は一般に楕円偏光化しているので、(3)式の条件を満たすように偏波コントローラ4を調整する必要がある。

【0018】このような構成になっているので、被測定

ムスプリッタ、17は光検出器、18は信号処理系である。なお、図1と同一構成部分は同一符号をもって表している。

【0019】この従来例では、偏光ビームスプリッタ16により局発光及び反射光をP波とS波に分離してそれぞれの偏光状態で反射光及び局発光を干渉させ、光検出器8及び17と信号処理系18でそれぞれのビート信号の干渉強度を検出し、それぞれの強度の加算を行うという偏波ダイバーシティ技術が採用されている。

【0013】偏光ビームスプリッタ16で分離される反射光及び局発光のP波とS波の電場成分をそれぞれ $(E_{r,p}, E_{l,p})$ 及び $(E_{r,s}, E_{l,s})$ とする。ここで、添え字のr及びLはそれぞれ反射光及び局発光を示す。

【0014】反射光及び局発光の電場成分がそれぞれの偏波（P波またはS波）でコヒーレント状態かつ同位相であることを考慮すると、干渉ビート成分の振幅は $E_{r,p}$ 、 $E_{r,s}$ 、 $E_{l,p}$ 、 $E_{l,s}$ となり、ビート信号のそれぞれの強度は

和は

光モジュール3に接続された光ファイバピッギングテール3aの長さに応じて干渉計のバランスを取るために局発光側に光ファイバ遅延線5を設置し、局発光の偏光状態を偏波コントローラ4で調整すれば、被測定光モジュール3からの反射光の光パワー分布、即ち反射率分布を偏光状態に依存することなく測定することができる。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、反射測定を自動化する観点からすれば、図2の装置も以下の欠点を有する。

【0020】即ち、局発光側に接続する光ファイバ遅延線5を交換する毎に局発光の偏光状態を偏波コントローラ4で調整することが必要になる。異なる光ファイバ遅延線5では局発光の偏光状態は異なるので、この調整を自動化するためには、1/2波長板と1/4波長板を自動的に任意の角度だけ回転できる機構をこの偏波コントローラに設け、両波長板の各回転角に対して偏光ビームスプリッタの分配比をモニターする系を設置する必要がある。

【0021】また、図4以降で説明する本発明の実施の形態では、高感度化のためには低コヒーレンス光に含まれる強度雑音を差動回路を用いて低減しているが、図2に示した偏光ビームスプリッタで分離する装置ではこの差動回路を組み込むことができない。

【0022】以上の背景から、光ファイバ遅延線を交換しても偏光状態を任意に調整するための機能が不要で、偏波調整から解放され、高感度化のための差動回路を組み込むことが可能な低コヒーレンスリフレクトメータの開発が強く望まれていた。

【0023】本発明の目的は、局発光側に設置する光ファイバ遅延線の偏光状態を調整することなく被測定光回路の反射率(分布)を測定できる、Polarization adjustment freeの機能を実現し、偏波調整を一切必要としない偏波無依存リフレクトメトリー及び偏波無依存リフレクトメータを提供することにある。

【0024】

【課題を解決するための手段】このような課題を解決するため、本発明では、ほぼ無偏光状態の低コヒーレンス光を射出する光源を用い、この光源からの射出光を二分し、一方を測定光として被測定光回路に入射し、他方を局発光として任意に変更可能な群遅延量を与えた後、前記測定光が被測定光回路の伝搬距離に応じた各地点で反射されて発生する反射光と光合波部で合波させて干渉させる際、局発光が光合波部へ至る経路または反射光が光合波部へ至る経路のいずれか一方に、偏光子と、伝搬光の偏光状態を 0° 及び 90° に任意に回転させる偏波回転装置とを設置し、それぞれの偏波回転角での干渉ビート信号の強度の和をとることで、被測定光回路や光ファイバ遅延線の状態に関わり無く被測定光回路からの反射光パワーを測定可能とすることを特徴とする。

【0025】本発明でも偏光状態を 0° 及び 90° に回転する機構が必要であるが、光ファイバ遅延線や被測定光回路がどんなものであれ、常に 0° 及び 90° の2つの状態だけを実現するための確定した電気的または機械的な制御が必要なだけであり、出力が最大となったり、2つの成分が等しくなるような最適状態を偏波コントロ

$$\begin{aligned} I_0 &= 1/4 \cdot |(\underline{E}_0, \underline{E}_0')|^2 \\ &= 1/4 \cdot |\underline{E}_0|^2 \sum \underline{E}_{ab} \cdot \underline{E}_{ab}' \cdot \underline{U}_{ab} \end{aligned} \quad (5. 1)$$

$$\begin{aligned} I_{90} &= 1/4 \cdot |(\underline{E}_{90}, \underline{E}_{90}')|^2 \\ &= 1/4 \cdot |\underline{E}_{90}|^2 \sum \underline{E}_{ab} \cdot \underline{E}_{ab}' \cdot \underline{U}_{ab} \end{aligned} \quad (5. 2)$$

となる。ここで、 (\cdot, \cdot) はベクトルの内積、 \underline{E}_a ($a = x, y$) は反射光の電場ベクトル、 \underline{E}_b ($a = x, y$) はユニタリー行列 \underline{U} の (a, b) 成分を表す。 $(5. 1)$ と $(5. 2)$ 式の和

$$\begin{aligned} I &= I_0 + I_{90} \\ &= 1/4 \cdot |\underline{E}_0|^2 \sum \underline{E}_{ab} \cdot \underline{E}_{ab}' (\underline{U}_{ab} \cdot \underline{U}_{ab}' + \underline{U}_{90ab} \cdot \underline{U}_{90ab}') \end{aligned} \quad (6)$$

で表される。

【0033】 \underline{U} がユニタリー行列であるから、定数 δ と 50

ー α を微調しながら探す必要は無い。例えば、図5で説明する本発明の偏波回転装置で使用したファラデー回転素子には、常に2つの確定した電流をコイルに流し、各電流値に対して測定された干渉ビート信号の強度 I_0 と I_{90} を加算するだけで良い。

【0026】以下、本発明で偏波無依存の測定ができる原理を説明する。

【0027】図3は本発明の原理を説明するためのリフレクトメータの要部を示すものである。図中、21は2個の入射ポート 21-1, 21-2 と 2 個の出射ポート 21-3, 21-4 を有する光合波用の光ファイバカプラ、22は偏光子、23は偏波回転装置である。

【0028】ここで、光ファイバカプラ 21 の入射ポート 21-1 には図示しない被測定光回路を含む測定用光学系からの反射光が伝搬し、入射ポート 21-2 には図示しない可変遅延光学系からの局発光が伝搬しているものとする。

【0029】この際、偏光子 22 が固定されているので、偏波回転角が $\theta = 0^\circ$ である場合に局発光が偏波回転装置 23 を出射した直後の偏波方向は紙面に平行な方向であると仮定できるので、この偏波を矢印で表し、この方向の単位ベクトルを \underline{x} とする。すると、回転角が $\theta = 90^\circ$ の時の局発光の偏波は紙面に垂直方向となるので、これを黒丸印で表し、この方向の単位ベクトルを \underline{y} とする。

【0030】偏波回転装置 23 を通過した局発光は入射ポート 21-2 を伝搬するので、入射ポート 21-1 からの反射光と合波する時の偏光状態は、一般には梢円偏光となる。 $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 90^\circ$ に対応する局発光の光ファイバカプラ 21 での電場ベクトルは、 2×2 のユニタリー行列 \underline{U} を用いて $\underline{E}_0 = \underline{E}_0 \cdot \underline{U} \cdot \underline{x}$ 及び $\underline{E}_{90} = \underline{E}_{90} \cdot \underline{U} \cdot \underline{y}$ と表せる。ここで、 \underline{E}_0 は局発光の電場振幅であり、 $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 90^\circ$ で光の受ける損失は同じであるとする。

【0031】反射光の光ファイバカプラ 21 における電場ベクトルを \underline{E}_r とすれば、それぞれの回転角に対して検波されるビート信号の強度は

Σ は $a, b = x, y$ の全ての組み合わせに対して行われるものとする。

【0032】(5. 1) と (5. 2) 式より、 I_0 と I_{90} の和は

ε を用いて

9

$$\begin{aligned} U_{\perp\perp} &= \delta, \\ U_{\perp\parallel} &= -\varepsilon', \\ U_{\parallel\perp} &= \varepsilon, \\ U_{\parallel\parallel} &= \delta', \end{aligned}$$

$$|\delta|^2 + |\varepsilon'|^2 = 1$$

と表される。(7)式を用いれば、(6)式内の $U_{\perp\perp}$,
 $U_{\perp\parallel}$, $U_{\parallel\perp}$, $U_{\parallel\parallel}$ は(a, b)を添え字とした 2×2 の

$$\begin{aligned} I &= 1/4 \cdot |E_{\perp}|^2 + \sum E_{\perp\perp} E_{\perp\parallel} \\ &= 1/4 \cdot |E_{\perp}|^2 + |E_{\parallel}|^2 \end{aligned}$$

となり、総和Iは反射光の強度である $|E_{\perp}|^2$ に比例することになり、反射光や局発光の偏光状態に関係なく $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 90^\circ$ の二つの偏光切り替えを行うだけで反射光の光パワー、即ち反射率を測定することが可能となる。

【0035】以上述べた理論は偏光子22が偏波回転装置23の手前に配置されている場合であるが、偏光子22が偏波回転装置23の直後に設置されても、また、偏光子22だけ入射ポート21-1に設置されても(8)式を得ることができる。このため、偏光子及び偏波回転装置はそれぞれ、可変遅延光学系から光合波部へ至る経路または測定用光学系から光合波部へ至る経路(但し、光が往復する部分では偏光子及び偏波回転装置による偏波制御を2回受けことになるため、除くものとする。)のいずれか一方に設置されていれば良いことになる。

【0036】光ファイバ内を伝搬する光の偏光状態がユニタリーベクトルを用いて表されることに関しては、例えば、A. D. Kersey, M. J. Marrone, and M. A. Davis, "Polarization-insensitive fiber optic Michelson interferometer", Electron. Lett., vol. 27, pp. 518-520 (1991)、に報告されている。

【0037】

【発明の実施の形態】図4は本発明の偏波無依存リフレクタメータの第1の実施の形態を示すもので、図中、図1乃至図3と同一構成部分は同一符号をもって表す。即ち、1は光源、2は光ファイバカプラ、3は被測定光モジュール、5は光ファイバ遅延線、7は一軸ステージ、10, 11, 12は光コネクタ、21は光ファイバカプラ、24は光アイソレータ、25はリフレクタ、26, 27は光検出器、28は差動回路、29は信号処理系、30, 31はコリメート用レンズ、100は偏光子及び偏波回転装置を一体的に含む偏波回転用光モジュールである。

【0038】本構成では、光ファイバカプラ2の入射ポート2-2と光ファイバカプラ21の入射ポート21-1が接続され、偏波回転用光モジュール100が光ファイバカプラ21の入射ポート21-2と接続されている

10

(7)

単位マトリクスであることを証明できる。

【0034】このため(6)式は

(8)

10 (接続点を×印で示す。)。また、光ファイバカプラ2の出射ポート2-4は光アイソレータ24、コリメート用レンズ30、リフレクタ25、コリメート用レンズ31、光ファイバ遅延線5を介して偏波回転用光モジュール100に接続されている。

【0039】前記構成において、光源1からの出射光は、光ファイバカプラ2にその一方の入射ポート2-1より入射され、出射ポート2-3及び2-4に分岐される。出射ポート2-3に分岐された光は測定光として、光コネクタ10により接続された光ファイバビギングテール3aを介して被測定光モジュール3に入射される。前記測定光が被測定光モジュール3の伝搬距離に応じた各地点で反射されて発生する反射光は、前記光ファイバビギングテール3aを逆方向に伝搬して出射ポート2-3に入射され、光ファイバカプラ2の入射ポート2-2から出射される。

【0040】一方、光ファイバカプラ2の出射ポート2-4に分岐された光は、光アイソレータ24を伝搬し、コリメート用レンズ30により平行ビームにされ、リフレクタ25で反射され、その伝搬方向を 180° 転換させられた後にコリメート用レンズ31により集光され、光ファイバ遅延線5、偏波回転用光モジュール100を伝搬して光ファイバカプラ21の入射ポート21-2に入射され、局発光として使用される。

【0041】この局発光は偏波回転用光モジュール100内において、その偏光子により直線偏光に変換され、偏波回転装置により $\theta = 0^\circ$ または $\theta = 90^\circ$ の偏波回転を受ける。

【0042】被測定光モジュール3からの反射光とリフレクタ25で 180° 方向転換させられた局発光は光ファイバカプラ21で合波され、その出射ポート21-3及び21-4に分配され、それぞれ光検出器26及び27で受光される。光検出器26及び27で受光され、光電変換された反射光と局発光との2つのピート信号は差動回路28により差が取られ、光の強度雑音が相殺されて感度が向上された後、信号処理系29に出力される。

【0043】リフレクタ25を一軸ステージ7でビーム方向に移動させることにより、局発光の群遅延量が変化するが、このリフレクタ25の各位置に対して $\theta = 0^\circ$ 及び $\theta = 90^\circ$ の偏波回転に対するピート信号I₀及びI₉₀の強度を信号処理系29で測定し、それらの和であ

50

る $I_0 + I_{10}$ を計算することにより、反射光や局発光の偏光状態に依存することなく、被測定光モジュール3の各地点に応じた反射光の光パワーを測定することができ、反射率分布を測定できる。

【0044】この装置では、光ファイバカプラ2がその入射ポート2-1が光源1に接続されて光分岐部を構成し、光ファイバカプラ2-1がその出射ポート21-3及び21-4が光検出器26及び27に接続されて光合波部を構成し、光ファイバカプラ2の出射ポート2-3、入射ポート2-2、光ファイバカプラ2-1の入射ポート21-1が測定用光学系を構成し、光ファイバカプラ2の出射ポート2-4、光アイソレータ24、コリメート用レンズ30、リフレクタ25（一軸ステージ7を含む。）、コリメート用レンズ31、光ファイバ遅延線5、光ファイバカプラ2-1の入射ポート21-2が可変遅延光学系を構成し、これらによって干渉計が構成される。

【0045】本実施の形態では、分岐比の偏波依存損失が0.1dB以下である光ファイバカプラ2及び21を用いて干渉計を構築しているので、光源1からの出射光がこの干渉計内を伝搬してもその偏光度は変わらず0.1であった。

【0046】また、本実施の形態では、偏波回転用光モジュール100を光ファイバカプラ2-1の入射ポート21-2と光ファイバ遅延線5との間に設置したが、光ファイバカプラ2の出射ポート2-4と光アイソレータ24との間、光アイソレータ24とコリメート用レンズ30との間、コリメート用レンズ31と光ファイバ遅延線5との間等の可変遅延光学系から光合波部へ至る経路のいずれの部位（但し、光が往復する部位（この例では存在しない）を除く。）に設置しても同様な結果が得られ、また、光ファイバカプラ2-1の入射ポート21-1と光ファイバカプラ2の入射ポート2-2との間等の測定用光学系から光合波部へ至る経路のいずれの部位（但し、光が往復する部位（この例では光ファイバカプラ2の出射ポート2-3と被測定光モジュール3との間）を除く。）に設置しても同様な結果が得られる。

【0047】図5は図4に示した偏波回転用光モジュール100の第1の具体例を示すもので、図中、101、102は光ファイバビッグテール、111、112はコリメート用レンズ、113は偏光子、114はファラデー回転素子、115はコイル、116はコイル115への電流を制御するコントローラである。

【0048】光ファイバビッグテール101からの出射光はコリメート用レンズ111で平行ビームに変換される。この平行ビームの偏光度は0.1でほぼ無偏光であるので、光パワーの半分が偏光子113を通過でき、通過できる光パワーは光ファイバ遅延線や他の部分の光ファイバの状態に依存しない。直線偏光となった平行ビームはファラデー回転子114を伝搬した後、コリメート

用レンズ112により集光されて光ファイバビッグテール102に入射する。

【0049】ここで、ファラデー回転素子114を取り巻くコイル115に電流を流さないと、直線偏光は偏光子113を通過した直線偏光のままで光ファイバビッグテール102に入射する。コイル115にコントローラ116から電流を流すと、ファラデー回転素子114の長手方向に磁界が加わり、伝搬する光の直線偏波方向が回転する。35mAの電流をコイルに流すと直線偏光を90°回転することができるすれば、コイル115への注入電流を0または35mAに設定することにより、光ファイバビッグテール102に入射する直線偏光の方向をθ=0°またはθ=90°にすることができる。

【0050】図4に示した本発明の第1の実施の形態において、反射光と局発光との相対的な偏光状態が変化した時の測定（ピート）信号の変化を求めるため、偏波回転用光モジュール100と光ファイバ遅延線5との間に1/2波長板及び1/4波長板から構成される偏波コントローラを設置し、これらの波長板の回転角を10°刻みで変化させて被測定光モジュール内の一点からのフレネル反射信号の変化を測定した。図6にその結果を示す。

【0051】図6では1/4波長板の各回転角に対して1/2波長板の回転によってフレネル反射信号が変化する範囲をプロットしている。図中の(i)及び(ii)はそれぞれ光源1の波長を1.3μm及び1.53μmとした場合の結果を示している。

【0052】図6から明らかな通り、波長板を回転させても、フレネル反射信号の変化は両波長において±0.5dB以内に押さえられていることがわかる。様々な種類の被測定光モジュールの測定に対応して光ファイバ遅延線が交換され、反射光と局発光との相対的な偏光状態が変化しても、反射点における反射光パワーを±0.5dB以下の誤差で測定することができる。

【0053】図5において、偏波コントローラを用いて光ファイバビッグテール101からの出射光の偏光状態を変化させた時に偏光子113を通過できる光の最大パワーをP...、最小パワーをP...。とすれば、この光の偏光度はその定義により $P = (P_{\max} - P_{\min}) / (P_{\max} + P_{\min})$ と表せる。偏波依存損失を無視できる様々な種類の光ファイバを遅延線5として設置するということは、この偏波コントローラの波長板を様々な角度に設定にすることに等しい。従って、偏光子113、ファラデー回転素子114を伝搬して光ファイバビッグテール102に入射する光パワーは、設置する光ファイバ遅延線に応じてP...からP...まで変化すると考えられる。

【0054】一方、被測定光モジュールからの反射光の偏光度は保持されていてPであり、偏光した局発光と干渉できる反射光の光パワーはαP...からαP...まで変化する。ここで、αは定数である。

【0055】(8)式から明らかなように、低コヒーレンスリフレクトメータで得られる出力は、局発光の光パワー ($\propto |E_1|^2$) と反射光の光パワー ($\propto |E_r|^2$) の積に比例する。従って、偏光度が P である時に本発明によって反射光を測定して得られる信号は、設置する光ファイバ遅延線 5 や被測定光モジュール 3 のピッグテールに応じて $\alpha \beta P_{\text{out}}^2$ から $\alpha \beta P_{\text{out}}^2$ まで変化する。ここで、 β は定数である。

【0056】変動する信号の平均値は $\alpha \beta (P_{\text{out}}^2 + P_{\text{out}}^2)/2$ であり、測定信号の平均値からの最大変位は $\alpha \beta (P_{\text{out}}^2 - P_{\text{out}}^2)/2$ である。このため、測定信号は平均値に対して $\pm (P_{\text{out}}^2 - P_{\text{out}}^2)/(P_{\text{out}}^2 + P_{\text{out}}^2)$ の割合だけ変動する可能性がある。これを偏光度 P を用いて表せば、変動率は $\pm 2P/(1+P^2)$ となる。 ± 0.5 、即ち 50% の信号変動までを許容するすれば、要求される偏光度は方程式 $2P/(1+P^2) = 0.5$ を解いて、 $P = 2 - 3^{1/2} = 0.27 \approx 0.3$ であることがわかる。即ち、偏光度が 0.3 以下の光を用いれば、偏光状態が変化しても信号の変動を 50% 以下に抑えることができる。

【0057】図 7 乃至図 9 は複屈折性を有する偏波保持光ファイバであるパンダファイバ（被測定光モジュール）からの後方レーリイ散乱信号の長手方向の変化を、第 1 の実施の形態を用いて測定した結果を示す。ここで、図 7 は $\theta = 0^\circ$ に対する成分 I_0 を、図 8 は $\theta = 90^\circ$ に対する成分 I_{90} を、図 9 は $I_0 + I_{90}$ をそれぞれ示す。

【0058】被測定パンダファイバは複屈折性を有するので、このファイバ内を伝搬する光の偏光状態は長手方向に周期的に変化する。このため、図 7 と図 8 に示すように、 I_0 と I_{90} はいずれもパンダファイバの複屈折率 B と波長入を用いて λ/B で定義されるビート長と呼ばれる空間周期の半分の周期で長手方向に変動してしまう。即ち、本実施の形態で I_0 または I_{90} だけを使っただけでは正確に反射信号を測定することはできない。しかしながら、図 9 に示すように $I_0 + I_{90}$ を計算することにより、反射信号の長手方向の変動は $\pm 1 \text{ dB}$ 以内に押さえることができる。即ち、反射光が長手方向に変動しても、反射率を正確に測定することが本実施の形態で可能となった。

【0059】図 5 に示した偏波回転用光モジュールにおいて偏光子 113 を取り除き、前述した偏波コントローラにおいて $1/2$ 波長板を 0° から 90° まで 10° 間隔で、 $1/4$ 波長板を 0° から 90° まで 10° 間隔でそれぞれ変化させた時のフレネル反射信号 $I_0 + I_{90}$ の変化を測定した結果を図 10 に示す。波長は $1.55 \mu\text{m}$ である。図 10 から明らかな通り、偏光子 113 が存在しないと、信号は 6 dB 以上も大きく変化してしまう。偏光子を設置することが反射光や局発光の偏波状態に依存することなく反射光パワーを正確に測定する上で

不可欠であることがわかる。

【0060】図 11 は偏波回転用光モジュールの第 2 の具体例を示すもので、偏光子 113 がファラデー回転子 114 の直後に設置されている点が図 5 の例の場合と異なる。

【0061】偏光子 113 は光を伝搬する偏波面の方向が固定されているので、その方向を便宜上 x 方向であるとする。 $\theta = 0^\circ$ の状態において、光ファイバ 101 からの出射光で偏光子 113 を通過できるのは x 方向に電場成分を有する光である。一方、 $\theta = 90^\circ$ の状態では偏光子を通過できるのは、 90° 回転して x 方向に電場成分を有する光である。従って、 $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 90^\circ$ の設定では偏光状態が 90° 、即ち互いに直交する光が偏光子 113 を通過して反射光とそれぞれ干渉することになる。本発明の原理は、偏光状態が 90° 異なる 2 つの偏光状態を発生し、それぞれの状態での干渉ビート信号の強度を測定した後にそれらの和を取ることである。このため、図 11 に示した構成でも反射光の光パワーをその反射光や局発光の偏光状態とは無関係に測定することが可能である。

【0062】図 12 は偏波回転用光モジュールの第 3 の具体例を示すもので、図中、121 は $1/2$ 波長板、122 は $1/2$ 波長板 121 を光ビームに垂直な面内で回転せしめるための回転ホルダー、123 はそのコントローラである。

【0063】 $1/2$ 波長板 121 の一方の主軸の方向を、偏光子 113 が直線偏光を通過させる方向に一致させることで、直線偏光の偏光方向が変化しない条件、即ち $\theta = 0^\circ$ を実現することができる。一方、 $1/2$ 波長板 121 の主軸の方向を、偏光子 113 が直線偏光を通過させる方向に対して 45° の方向に設定することで、偏光子 113 を通過した直線偏光は 90° の偏光回転を受けることになり、 $\theta = 90^\circ$ を実現できる。

【0064】本例を用いて図 6 の場合と同じ測定を行った結果、反射光に対する測定信号の変化を $\pm 0.5 \text{ dB}$ 以内に抑えることが確認できた。また、偏光子 113 の設置場所は、 $1/2$ 波長板 121 とコリメート用レンズ 112 との間でも良い。

【0065】直線偏光を 90° 回転させる他の方法として、液晶に電圧を印加する方法がある。図 13 は偏波回転用光モジュールの第 4 の具体例を示すもので、図中、131 は薄い液晶層とこれを挟むフューズドシリカ性のオプティカルフラットからなる液晶素子、132 は液晶素子 131 に電圧を加えるための電源である。

【0066】液晶の分子は一軸性で、図 12 中の $1/2$ 波長板のような複屈折性を有する。この液晶素子 131 への印加電圧を 0 V または所定の電圧、例えば 20 V に設定することにより、液晶の主軸間の位相差を 0° または 180° に設定することができる。従って、図 12 に示した $1/2$ 波長板を用いた場合と同様に、液晶素子 1

31への電圧を調整することにより、 $\theta = 0^\circ$ （印加電圧0Vの時）及び $\theta = 90^\circ$ （印加電圧20Vの時）の偏光回転を実現できる。図12では1/2波長板を機械的に回転させて $\theta = 90^\circ$ を実現したが、本例では機械的な回転ではなく電気的な操作で $\theta = 90^\circ$ を実現できる点に特徴がある。なお、偏光子113はコリメート用レンズ112と液晶素子131との間に設置しても良い。

【0067】以上説明した偏波回転用光モジュールでは偏光子と偏波回転装置とが同一モジュール内に収納されていた。しかしながら、「課題を解決するための手段」で説明したように、偏光子と偏波回転装置とは、可変遅延光学系から光合波部へ至る経路または測定用光学系から光合波部へ至る経路のうち、互いに異なる経路に設置されていても良い。

【0068】図14及び図15はそれぞれ、ファラデー回転素子による偏波回転装置のみ及び偏光子のみを含む光モジュールの構成を示す図である。即ち、図14は図5または図11に示した例から偏光子113を除いたものである。また、図15において、113は偏光子、141, 142は光ファイバピッギングテール、143, 144はコリメート用レンズであり、光ファイバピッギングテール141からの出射光はコリメート用レンズ143で平行ビームとされ、偏光子113を伝搬した後にコリメート用レンズ144により集光され、光ファイバピッギングテール142に入射する如くなっている。

【0069】これらのモジュールをそれぞれ、図4に示した第1の実施の形態における可変遅延光学系から光合波部へ至る経路または測定用光学系から光合波部へ至る経路のいずれか一方に設置しても、偏波に依存することなく反射光のパワーを測定することができる。同様に、図12中の1/2波長板による偏波回転装置または図13中の液晶素子による偏波回転装置のみを含み、偏光子を含まない光モジュールを作製し、これをいずれか一方の経路に設置することもできる。

【0070】図16は本発明の偏波無依存リフレクトメータの第2の実施の形態を示すもので、ここでは第1の実施例において群遅延量を変更する手段（可変遅延回路）として図1または図2に示したような入射ポートと出射ポートとが共通のもの（光遅延ファイバ5、コリメート用レンズ13、反射鏡6及び一軸ステージ7からなる。）を適用可能とするために第3の光ファイバカプラを導入したことを特徴とする。

【0071】即ち、図中、41は2個の入射ポート41-1, 41-2と2個の出射ポート41-3, 41-4とを有する光ファイバカプラであり、その入射ポート41-1は光アイソレータ24を介して光ファイバカプラ2の出射ポート2-4に接続され、また、その入射ポート41-2は偏波回転用光モジュール100を介して光ファイバカプラ21の入射ポート21-2に接続され、

さらにその出射ポート41-4は前述した入射ポートと出射ポートが共通の可変遅延回路、ここでは光ファイバ遅延線5、コリメート用レンズ13、反射鏡6及び一軸ステージ7に接続されている。

【0072】前記構成において、光源1からの出射光は光ファイバカプラ2で二分され、その出射ポート2-4に分岐された光は光アイソレータ24を伝搬した後、光ファイバカプラ41にその入射ポート41-1から入射され、さらに出射ポート41-3及び41-4に分岐される。ここで、出射ポート41-3に分岐された光はそのまま出射てしまい、以後使用されることはない。

【0073】出射ポート41-4に分岐された光は光ファイバ遅延線5を伝搬し、コリメート用レンズ13により平行ビームにされ、反射鏡6で反射される。反射された光は前記経路を逆方向に伝搬して光ファイバカプラ41の出射ポート41-4に入射され、入射ポート41-1及び41-2に分岐される。ここで、入射ポート41-2に分岐された光は偏波回転用光モジュール100を伝搬して光ファイバカプラ21の入射ポート21-2に入射され、局発光として使用されるが、入射ポート41-1に分岐された光は光アイソレータ24でブロックされる。

【0074】この装置では、光ファイバカプラ2がその入射ポート2-1が光源1に接続されて光分岐部を構成し、光ファイバカプラ21がその出射ポート21-3及び21-4が光検出器26及び27に接続されて光合波部を構成し、光ファイバカプラ2の出射ポート2-3、入射ポート2-2、光ファイバカプラ21の入射ポート21-1が測定用光学系を構成し、光ファイバカプラ2の出射ポート2-4、光アイソレータ24、光ファイバカプラ41の入射ポート41-1, 41-2、出射ポート41-4、光ファイバ遅延線5、コリメート用レンズ13、反射鏡6（一軸ステージ7を含む。）、光ファイバカプラ21の入射ポート21-2が可変遅延光学系を構成し、これらによって干渉計が構成される。

【0075】なお、偏波回転用光モジュール100としては、図5、図11乃至14のいずれに示した構成のものでも良い。また、偏波回転用光モジュール100の設置部位についても、可変遅延光学系から光合波部へ至る経路または測定用光学系から光合波部へ至る経路のいずれの部位（但し、光が往復する部位（この例では光ファイバカプラ41の出射ポート41-4と光ファイバ遅延線5との間、光ファイバ遅延線5とコリメート用レンズ13との間、コリメート用レンズ13と反射鏡6との間、光ファイバカプラ2の出射ポート2-3と被測定光モジュール3との間）を除く。）に設置しても機能は変わらない。

【0076】図4に示した第1の実施の形態では、入射ポートと出射ポートとが異なる可変遅延回路（コリメート用レンズ30, 31、リフレクタ25、一軸ステージ

7 及び光ファイバ遅延線 5 からなる。) を備えた可変遅延光学系を必要とするのに対して、本実施の形態では入射ポートと出射ポートが共通の可変遅延回路を備えた可変遅延光学系を用いることができる。

【0077】このため、図17に示すように、反射鏡6の代わりに入出射ポートが共通で多重反射を利用した反射装置を用いることで、測定距離レンジを10倍に拡大できる利点がある。

【0078】図17において、42は反射プリズム、43、44はどんな入射角の入射光であってもビーム方向を180度回転させて該入射光と平行に反射させ得るレトロリフレクタ、45は反射鏡である。

【0079】コリメート用レンズ13により平行とされたビームはプリズム42で反射されてレトロリフレクタ43に入射する。入射した光はr1、r2地点で反射された後にレトロリフレクタ44に入射し、r3、r4地点で反射されて再びレトロリフレクタ43に入射する。以下、r5、r6、……r18の順に両レトロリフレクタで反射され、レトロリフレクタ44の中心近辺に設置された反射鏡45で180度の方向転換を受け、その後、両レトロリフレクタのr18、r17、……r3、r2、r1の地点で順次反射され、プリズム42を介して取り出され、コリメート用レンズ13により集光され、再び光ファイバ遅延線5に伝搬される。

【0080】レトロリフレクタ43は一軸ステージ7によりビーム方向に移動する。この移動するレトロリフレクタ43によりビームは10回方向転換される。一方、反射鏡6を用いた図16の例では1回の方向転換を受けるだけである。従って、図17に示した可変遅延回路を図16に示した本発明の第2の実施の形態で用いることにより、距離レンジを10倍拡大することが可能となる。

【0081】なお、図17に示された反射装置は、例えば、K. Takada, H. Yamada, Y. Hibino, and S. Mitachi, "Range extension in optical low coherence reflectometry achieved using a pair of retroreflectors", Electron. Lett., vol. 31, pp. 1565-1566 (1995)、に報告されている。

【0082】図16に示した本発明の第2の実施の形態では、光ファイバカプラ41の出射ポート41-3が未使用であった。この出射ポートを利用して測定距離レンジを2倍に拡大した構成が図18に示す本発明の第3の実施の形態である。

【0083】即ち、図中、51は長さL=1mの光ファイバ遅延線、52は2×1光スイッチであり、この光スイッチ52を用いて出射ポート41-4と前述した可変遅延回路(5、6、7、13)を接続した場合、L=1

mまでの被測定光モジュールの反射分布が測定できる。光ファイバ遅延線51の長さがL=1mであるので、光スイッチ52で出射ポート41-3と可変遅延回路を接続することにより、Lから2Lまでの地点の反射分布が測定可能となる。また、図17に示した可変遅延回路(5、7、13、42～45)も本実施の形態で使用できるが、この場合には光ファイバ遅延線51の長さLを10mにする必要がある。

【0084】図19は本発明の偏波無依存リフレクトメータの第4の実施の形態を示すもので、ここでは第3の実施の形態において光アイソレータを不要するために第4の光ファイバカプラを設けたことを特徴とする。

【0085】即ち、図中、61は2個の入射ポート61-1、61-2と2個の出射ポート61-3、61-4とを有する光ファイバカプラであり、その入射ポート61-1は光ファイバカプラ2の出射ポート2-3に接続され、また、その入射ポート61-2は光ファイバカプラ21の入射ポート21-1に接続され、さらにその出射ポート61-3は被測定光モジュール3に接続されている。

【0086】前記構成において、光源1からの出射光は光ファイバカプラ2で二分され、その一方の出射ポート2-3に分岐された光は、光ファイバカプラ61にその入射ポート61-1から入射され、さらに出射ポート61-3及び61-4に分岐される。ここで、出射ポート61-4に分岐された光はそのまま出射てしまい、以後使用されることはない。

【0087】出射ポート61-3に分岐された光は測定光として、被測定光モジュール3に入射され、この測定光が被測定光モジュール3の伝搬距離に応じた各地点で反射されて発生する反射光は逆方向に伝搬して出射ポート61-3に入射され、光ファイバカプラ61の入射ポート61-2に出射される。

【0088】一方、光ファイバカプラ2の他方の出射ポート2-4に分岐された光は、光ファイバカプラ41にその入射ポート41-1から入射され、さらに出射ポート41-3及び41-4に分岐される。

【0089】出射ポート41-3は光ファイバ遅延線51を介して、また、出射ポート41-4はそのまま、2×1の光スイッチ52により後段の可変遅延回路(5、6、7、13)に接続されており、出射ポート41-3または41-4に分岐された光は光ファイバ遅延線51を介してまたはそのまま可変遅延回路に入射される。ここで、所定の遅延を受けた光は前記経路を逆方向に伝搬して光ファイバカプラ41に戻り、その入射ポート41-1及び41-2に分岐され、入射ポート41-2に分岐された光が偏波回転用光モジュール100を伝搬して光ファイバカプラ21の入射ポート21-2に入射され、局発光として使用される。

【0090】この局発光は光ファイバカプラ61の入射

ポート61-2より光ファイバカプラ21の入射ポート21-1に入射された反射光と合波され、その出射ポート21-3及び21-4に分配され、それぞれ光検出器26及び27で受光される。以後の動作は第1乃至第3の実施の形態の場合と同様である。

【0091】この装置では、光ファイバカプラ2がその入射ポート2-1が光源1に接続されて光分岐部を構成し、光ファイバカプラ21がその出射ポート21-3及び21-4が光検出器26及び27に接続されて光合波部を構成し、光ファイバカプラ2の出射ポート2-3、光ファイバカプラ61の入射ポート61-1, 61-2、出射ポート61-3、光ファイバカプラ21の入射ポート21-1が測定用光学系を構成し、光ファイバカプラ2の出射ポート2-4、光ファイバカプラ41の入射ポート41-1, 41-2、出射ポート41-3, 41-4、光ファイバ遅延線51、光スイッチ52、光ファイバ遅延線5、コリメート用レンズ13、反射鏡6(一軸ステージ7を含む。)、光ファイバカプラ21の入射ポート21-2が可変遅延光学系を構成し、これらによって干渉計が構成される。

【0092】なお、偏波回転用光モジュール100としては、図5、図11乃至14のいずれに示した構成のものでも良い。また、偏波回転用光モジュール100の設置部位についても、可変遅延光学系から光合波部へ至る経路または測定用光学系から光合波部へ至る経路のいずれの部位(但し、光が往復する部位(この例では光ファイバカプラ41の出射ポート41-3と光ファイバ遅延線51との間、光ファイバ遅延線51と光スイッチ52との間、光ファイバカプラ41の出射ポート41-4と光スイッチ52との間、光スイッチ52と光ファイバ遅延線5との間、光ファイバ遅延線5とコリメート用レンズ13との間、コリメート用レンズ13と反射鏡6との間、光ファイバカプラ61の出射ポート61-3と被測定光モジュール3との間)を除く。)に設置しても機能は変わらない。

【0093】図18に示した本発明の第3の実施の形態では、可変遅延回路側からの戻り光が光ファイバカプラ41の入射ポート41-1を逆に伝搬し、被測定光モジュール3側からの反射光に影響を与えててしまうので、これをブロックするために光アイソレータ24が不可欠であった。

【0094】一方、図19に示した第4の実施の形態では、可変遅延回路側からの戻り光の一部は光ファイバカプラ41の入射ポート41-1を逆方向に伝搬し、光ファイバカプラ2の出射ポート2-4に入射されるが、この光は光ファイバカプラ2の入射ポート2-1及び2-2側に伝搬し、被測定光モジュール3の方向に伝搬することはない。このため、本実施の形態によれば、光アイソレータが不要となる。

【0095】なお、光ファイバ遅延線51と2×1光ス

10

30

40

50

イッチ52を設置した理由は、図18に示した第3の実施の形態と同じく、測定レンジを2倍に拡大するためであり、省略しても良い。

【0096】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、局発光側に設置する光ファイバ遅延線の偏光状態を調整することなく被測定光回路の反射率(分布)を測定できるので、光導波路や光モジュールの全自動反射率測定を可能にでき、光モジュール製造メーカーにおける高性能な光モジュールの開発に寄与できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の低コヒーレンスリフレクトメータの一例を示す図

【図2】従来の低コヒーレンスリフレクトメータの他の例を示す図

【図3】本発明の原理を説明するためのリフレクトメータの要部を示す図

【図4】本発明の偏波無依存リフレクトメータの第1の実施の形態を示す図

【図5】図4中の偏波回転用光モジュールの第1の具体例を示す図

【図6】局発光の偏光状態を変化させた時のフレネル反射信号の変化の測定結果を示す図

【図7】パンダファイバからの後方レーリイ散乱信号のI_o成分の長手方向の変化の測定結果を示す図

【図8】パンダファイバからの後方レーリイ散乱信号のI_{oo}成分の長手方向の変化の測定結果を示す図

【図9】パンダファイバからの後方レーリイ散乱信号のI_o+I_{oo}成分の長手方向の変化の測定結果を示す図

【図10】偏光子を取り除いて局発光の偏光状態を変化させた時のフレネル反射信号の変化の測定結果を示す図

【図11】偏波回転用光モジュールの第2の具体例を示す図

【図12】偏波回転用光モジュールの第3の具体例を示す図

【図13】偏波回転用光モジュールの第4の具体例を示す図

【図14】偏波回転装置モジュールの構成図

【図15】偏光子モジュールの構成図

【図16】本発明の偏波無依存リフレクトメータの第2の実施の形態を示す図

【図17】多重反射型可変遅延回路の構成図

【図18】本発明の偏波無依存リフレクトメータの第3の実施の形態を示す図

【図19】本発明の偏波無依存リフレクトメータの第4の実施の形態を示す図

【符号の説明】

1：発光ダイオード、2, 21, 41, 61：光ファイバカプラ、3：被測定光モジュール、3a：被測定光モジュール3の光ファイバピッギングテール、5, 51：光フ

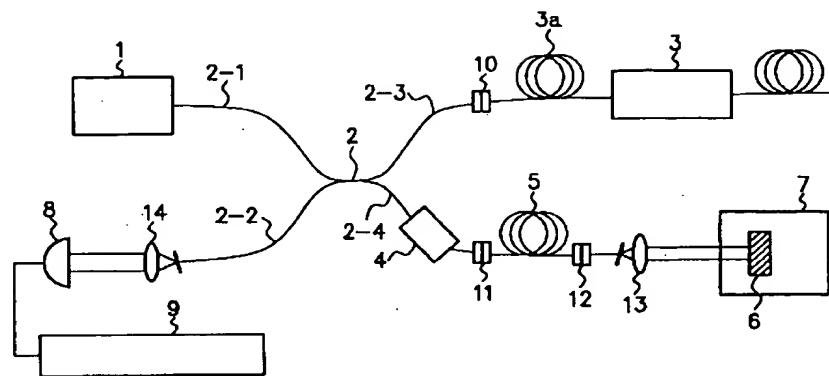
21

22

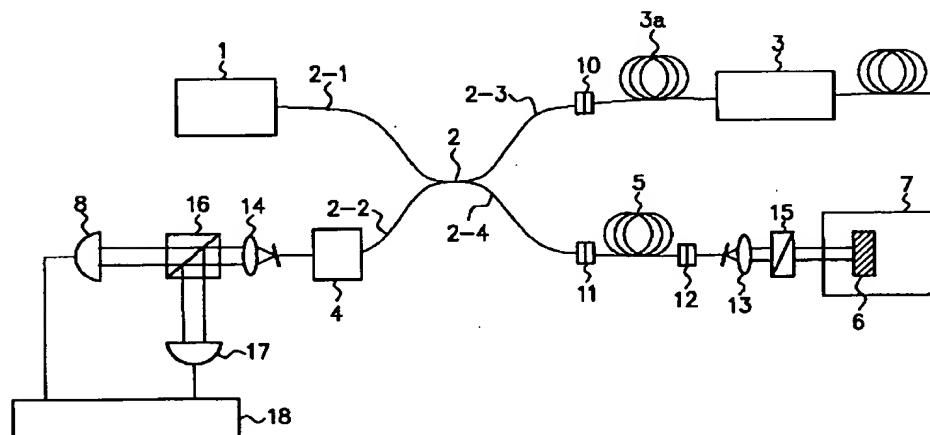
- ・ アイバ遅延線、6, 45: 反射鏡、7: 一軸ステージ、10, 11, 12: 光コネクタ、13, 30, 31: コリメート用レンズ、22, 113: 偏光子、23: 偏波回転装置、24: 光アイソレータ、25: リフレクタ、26, 27: 光検出器、28: 差動回路、29: 信号処理系。

理系、42: プリズム、43, 44: レトロリフレクタ、52: 2×2 光スイッチ、100: 偏波回転用光モジュール、113: 偏光子、114: フラーデー回転素子、121: 1/2 波長板、131: 液晶素子。

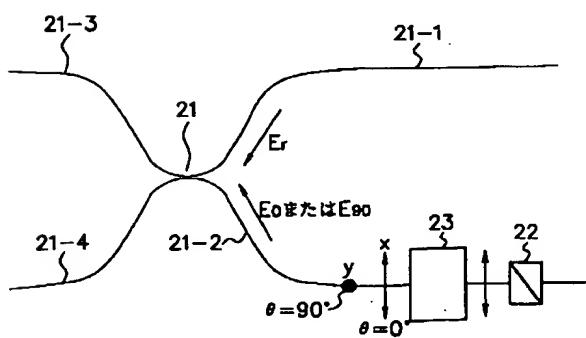
【図 1】



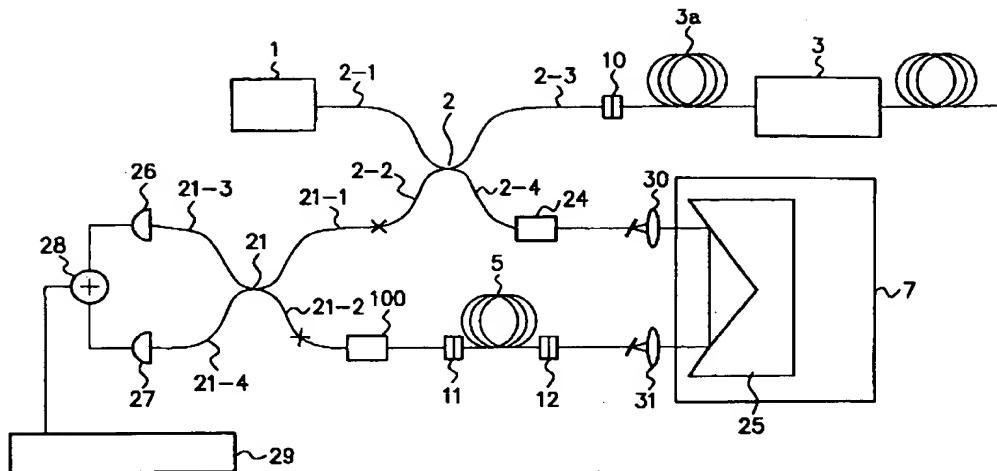
【図 2】



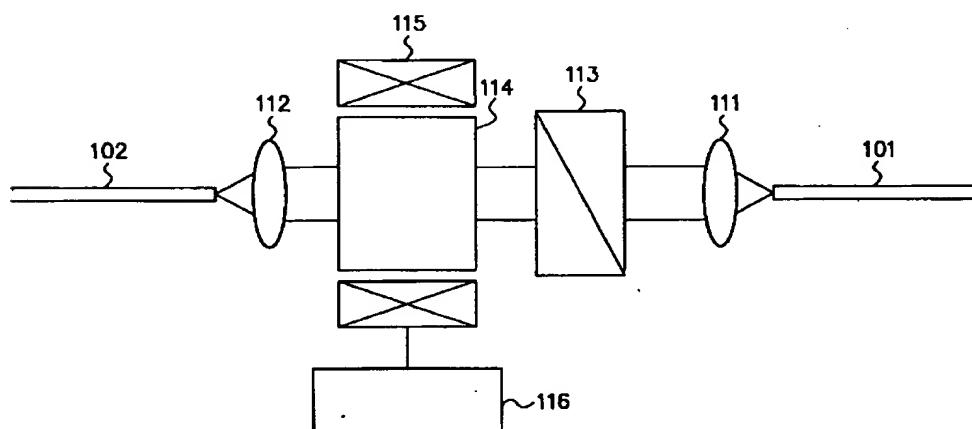
【図 3】



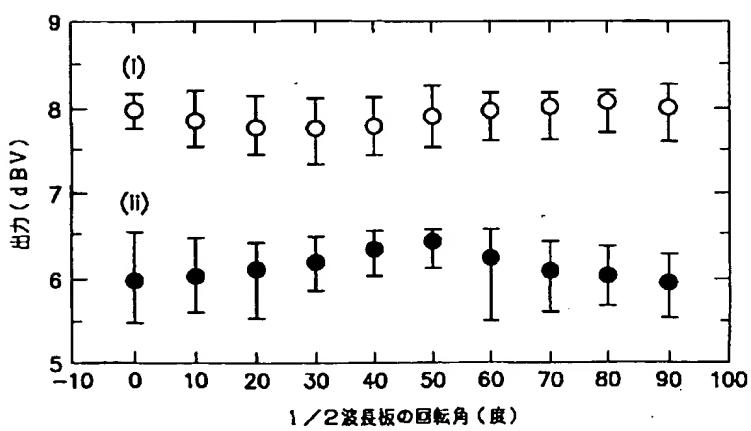
【図 4】



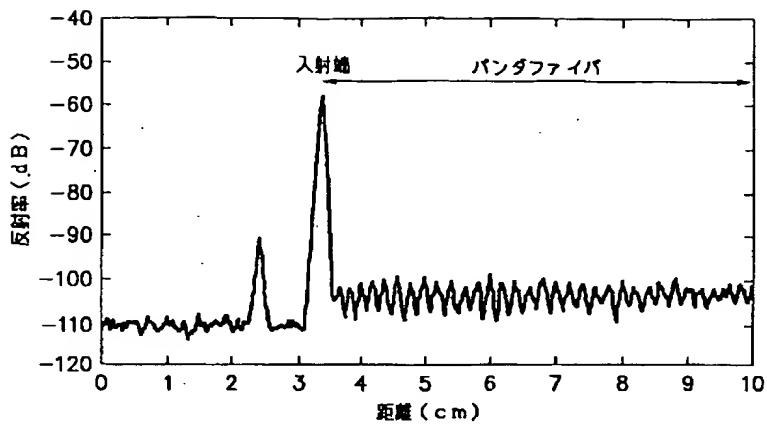
【図 5】



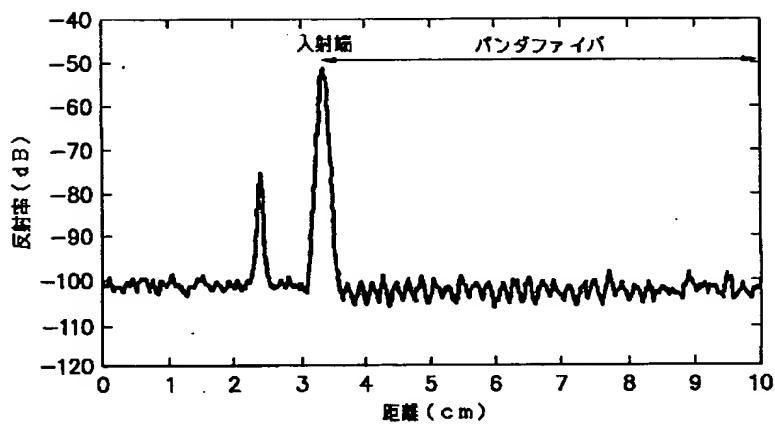
【図 6】



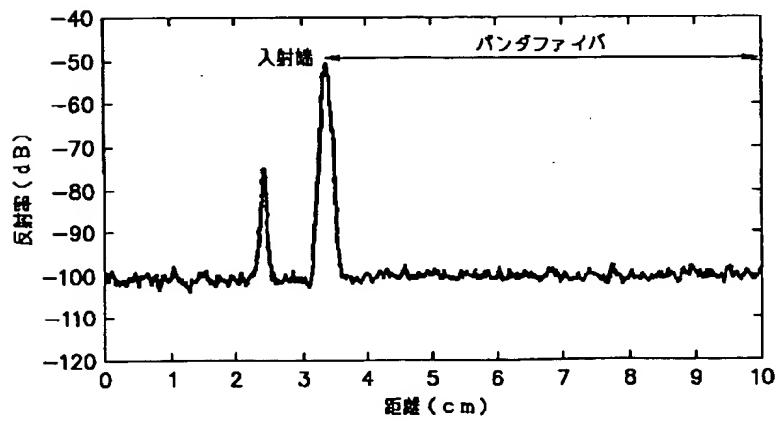
【図 7】



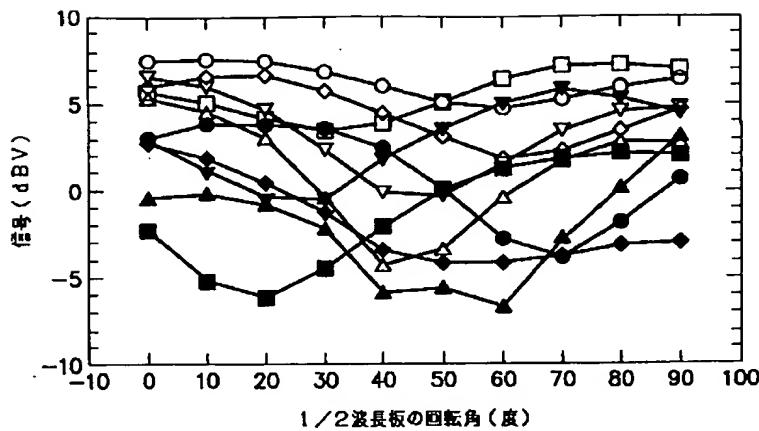
【図 8】



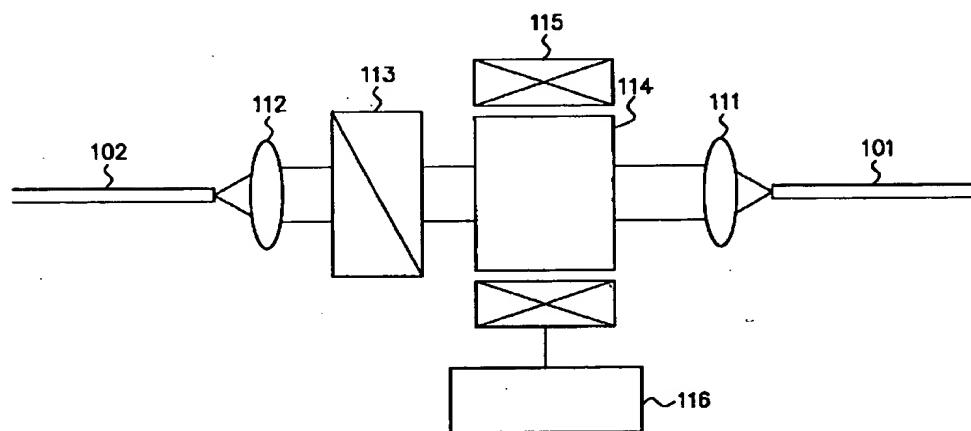
【図 9】



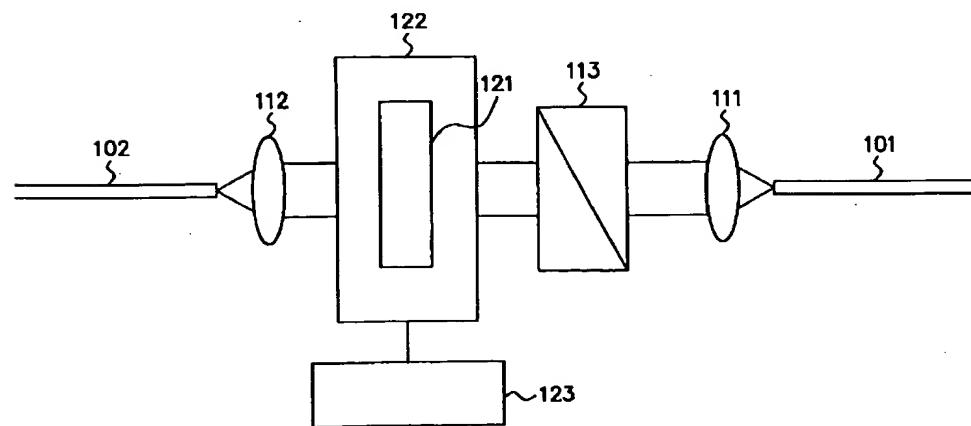
【図 1 0】



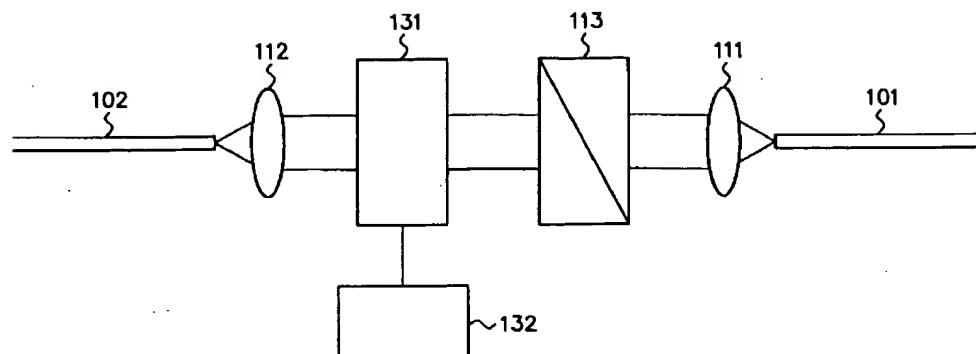
【図 1 1】



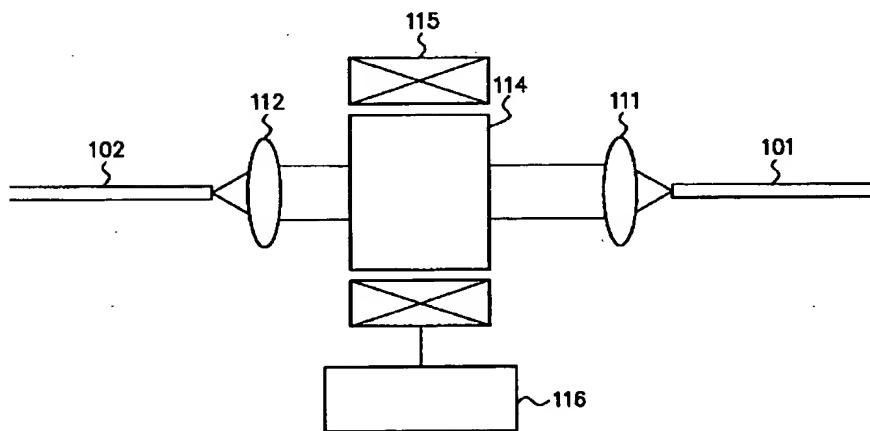
【図 1 2】



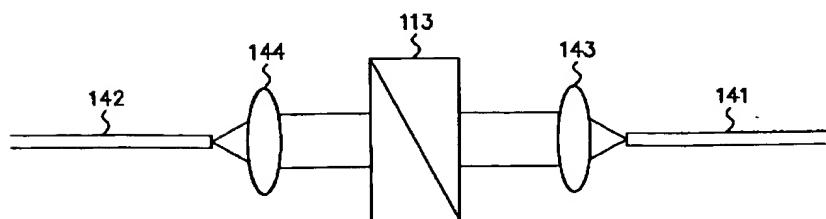
【図 1 3】



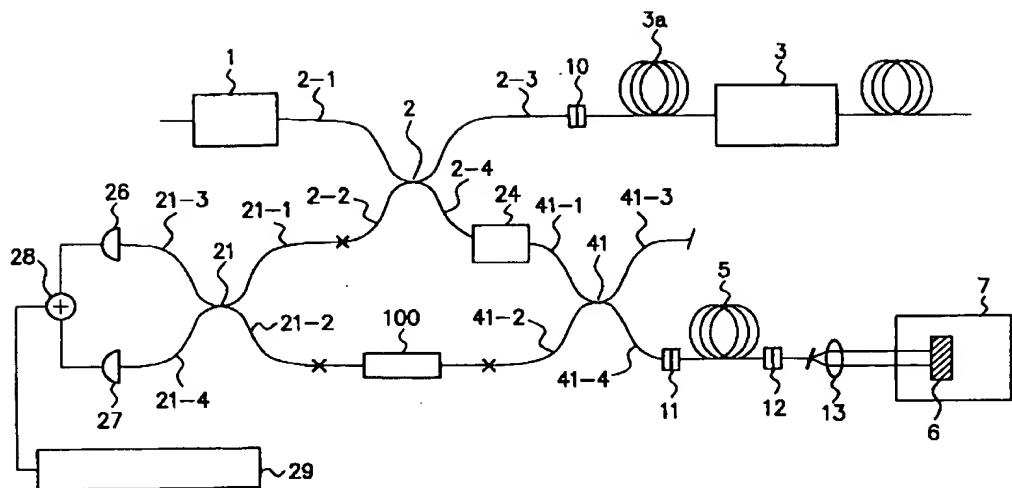
【図 1 4】



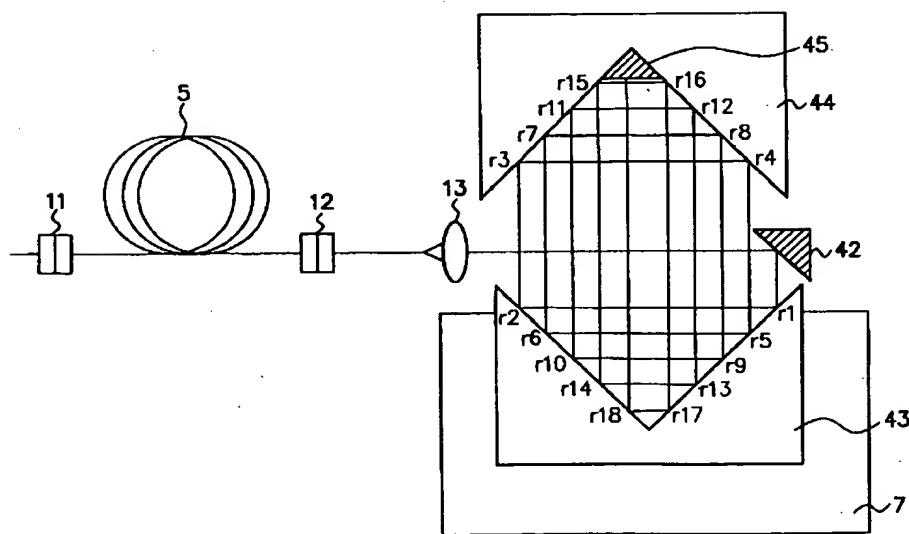
【図 1 5】



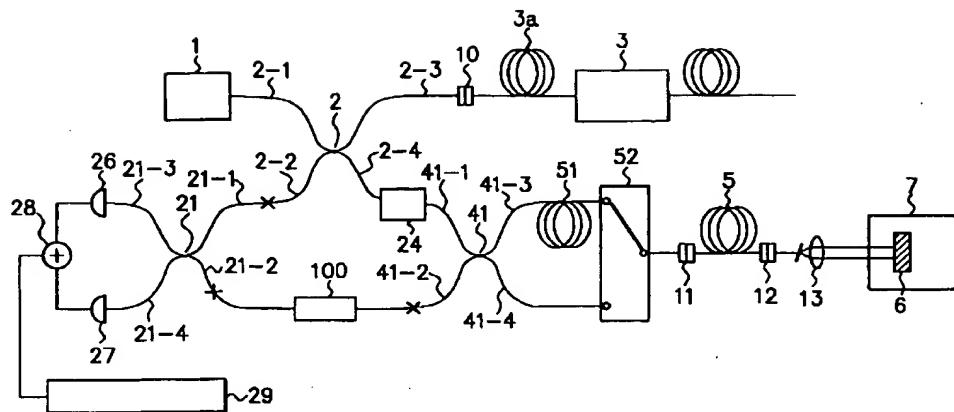
【図 16】



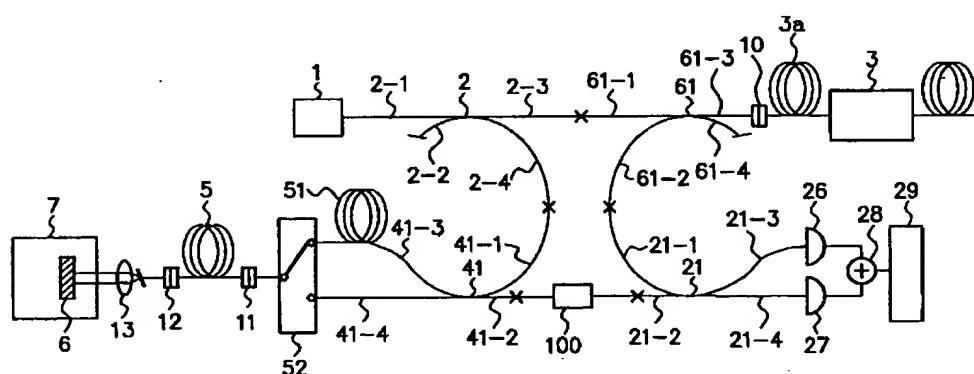
【図 17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 高田 和正
東京都新宿区西新宿3丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 森 徹
東京都大田区蒲田4丁目19番7号 安藤電
気株式会社内

(72)発明者 堀口 正治
東京都渋谷区桜丘町20番1号 エヌティテ
イエレクトロニクス株式会社内
Fターム(参考) 2G059 AA02 BB15 EE02 EE05 EE09
FF01 GG02 GG04 HH01 KK01
MM01